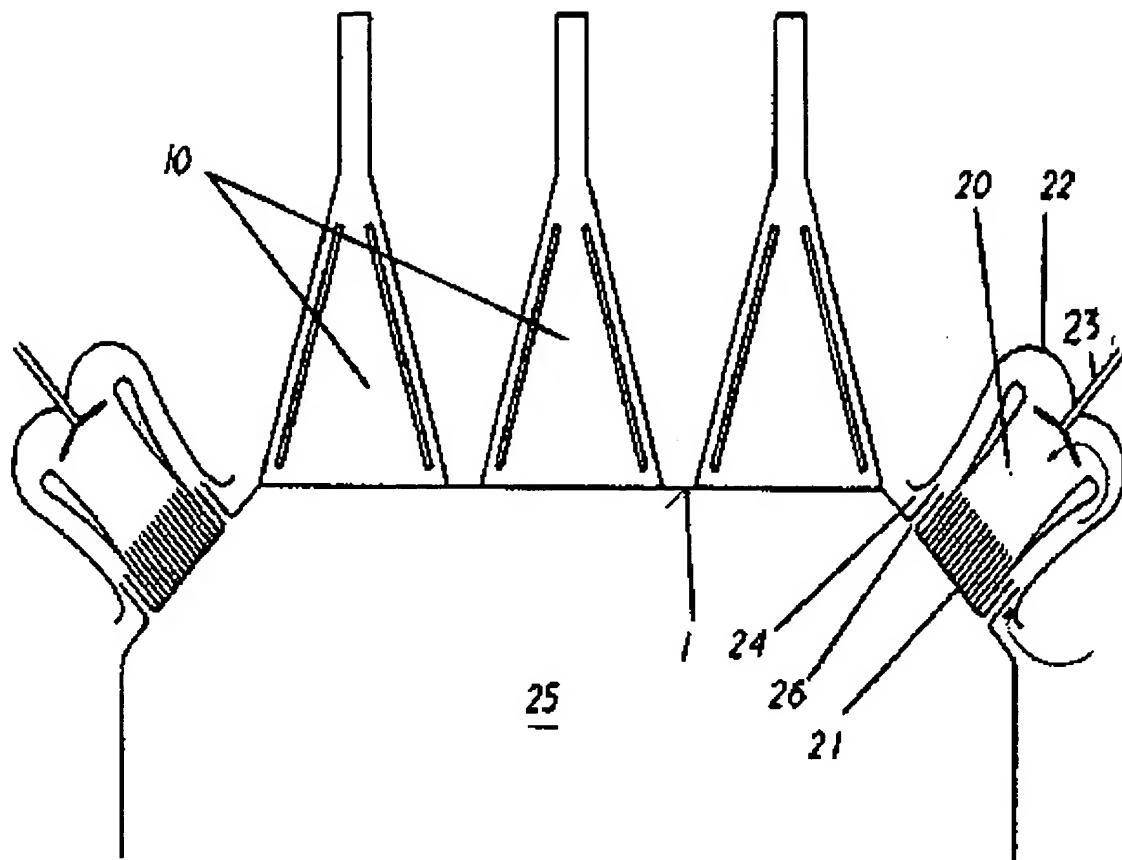


AN: PAT 1994-009080  
TI: Gas-turbine combustion chamber has pre-mixing burners combined with catalytically-aided and gas-operated burners and effecting main combustion  
PN: EP576697-A1  
PD: 05.01.1994  
AB: The chamber has pre-mixing burners (10) combined with catalytically-aided and pref. gas-operated burners (20). Main combustion is effected by the pre-mixing burners. The two kinds of burners can be interchangeable, and exhaust gas can be returned (24, 26) to the catalytic ones, being pref. extracted from the combustion chamber. The combustion air inlet to them can form an ejector pump, drawing the gas out of the combustion chamber, and these burners can be mounted in the prim. zone of the chamber, in highly-loaded wall sections.; The gas-turbine combustion chamber can be operated as closely as possible to the weak extinguishing point, where virtually no nitrous oxide is generated.  
PA: (ALLM ) ABB RES LTD;  
IN: KELLER J;  
FA: EP576697-A1 05.01.1994; DE59208831-G 02.10.1997;  
US5412938-A 09.05.1995; EP576697-B1 27.08.1997;  
CO: DE; EP; FR; GB; US;  
DR: DE; FR; GB;  
IC: F02C-003/34; F23D-023/00; F23R-003/40;  
DC: Q52; Q73;  
FN: 1994009080.gif  
PR: EP0110969 29.06.1992;  
FP: 05.01.1994  
UP: 02.10.1997





(19)

Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

EP 0 576 697 B1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
27.08.1997 Patentblatt 1997/35

(51) Int Cl. 6: F23D 23/00, F23R 3/40

(21) Anmeldenummer: 92110969.0

(22) Anmeldetag: 29.06.1992

### (54) Brennkammer einer Gasturbine

Combustor chamber for a gas turbine

Chambre de combustion pour turbine à gaz

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
DE FR GB

(74) Vertreter: Klein, Ernest et al  
Asea Brown Boveri AG,  
Intellectual Property Department (TEI),  
Bldg. 699/1st Floor,  
P.O. Box  
CH-5401 Baden (CH)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
05.01.1994 Patentblatt 1994/01

(56) Entgegenhaltungen:  
EP-A- 0 321 809 US-A- 3 943 705  
US-A- 4 040 252

(73) Patentinhaber: ABB RESEARCH LTD.  
8050 Zürich (CH)

(72) Erfinder: Keller, Jakob, Dr.  
CH-5605 Dottikon (CH)

EP 0 576 697 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelängt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

**Beschreibung****Technisches Gebiet**

Die Erfindung betrifft die Brennkammer einer Gasturbine, in welcher gleichzeitig neben klassischen Brennertypen auch katalytische Brenner zum Einsatz gelangen.

**Stand der Technik**

Die Kombination von Diffusionsbrennern und katalytischen Brennern ist bekannt. Sie wird eingesetzt in einer Art Mischbetrieb, wobei in der Regel die Brennkammer bis zu einer gewissen Teillast im reinen Diffusionsbetrieb hochgefahren wird. Danach werden mehr und mehr katalytische Brenner zugeschaltet. Dabei wird angestrebt, im Vollastbetrieb die Brennkammer im reinen katalytischen Betrieb zu fahren. Die katalytischen Brenner zeichnen sich dadurch aus, dass sie auch bei sehr magerem Brennstoff-Luftgemisch betriebsfähig bleiben. Andererseits sind sie auch mit typischen Nachteilen behaftet wie beispielsweise mangelnde Multibrennstoff-Fähigkeit, langsame Regelbarkeit, problematisches Zünden und Hochfahren.

Andererseits sind Brennkammern für Gasturbinen auf der Basis von Vormischbrennern bekannt, beispielsweise aus der EP-B1 29 619. Innerhalb einer Anzahl rohrförmiger Elemente läuft zwischen dem eingespritzten Brennstoff und der Verdichterluft ein Vormisch/Vorverdampfungsprozess bei grosser Luftüberschusszahl ab, bevor der eigentliche Verbrennungsprozess strom-abwärts eines Flammenhalters stattfindet. Mit dieser Massnahme können die Emissionswerte an Schadstoffen aus der Verbrennung erheblich reduziert werden.

Die Verbrennung mit der grösstmöglichen Luftüberschusszahl, - einmal dadurch gegeben, dass die Flamme überhaupt noch brennt und im weiteren dadurch, dass nicht zuviel CO entsteht - vermindert indessen nicht nur die Schadstoffmenge an NO<sub>x</sub>, sondern bewirkt darüberhinaus auch die Tiefhaltung anderer Schadstoffe, nämlich wie bereits erwähnt von CO und von unverbrannten Kohlenwasserstoffen. Dieser Optimierungsprozess kann in Richtung noch tieferer NO<sub>x</sub>-Werte dahin getrieben werden, dass innerhalb der Brennkammer der Raum für die Verbrennung und Nachreaktionen grösser bemessen wird als für die eigentliche Verbrennung notwendig wäre. Dies erlaubt die Wahl einer grösseren Luftüberschusszahl, wobei dann zwar zunächst grössere Mengen CO entstehen, diese aber zu CO<sub>2</sub> weiter reagieren können, so dass schliesslich die CO-Emissionen gering bleiben. Andererseits aber bildet sich wegen des grossen Luftüberschusses nur wenig zusätzliches NO. Da mehrere rohrförmige Elemente bei dieser bekannten Brennkammer das Vormischen übernehmen, werden bei der Lastregelung jeweils nur so viele Elemente mit Brennstoff betrieben, dass sich für die jeweilige Betriebsphase (Start, Teillast, Vollast) die

optimale Luftüberschusszahl ergibt.

Andere Typen von Vormischbrennern, bei denen auf Flammenhalter verzichtet werden kann, sind in Form der Doppelkegelbrenner nach EP-B1-0 321 809 bekannt.

Alle Brennkammern mit Vormischbrennern weisen jedoch die Unzulänglichkeit auf, dass zumindest in den Betriebszuständen, in denen nur ein Teil der Brenner mit Brennstoff betrieben wird, nahe an die Grenze der Flammenstabilität gestossen wird. In der Tat wird die Löschgrenze aufgrund des sehr mageren Gemisches und der sich daraus ergebenden niedrigen Flammtemperatur bei typischen Gasturbinenbedingungen schon bei einer Luftüberschusszahl von etwa 2,0 erreicht.

Aus der US-A-4,040,252 ist eine Brennkammer bekannt, bei welcher katalytische Nachbrenner mit den Verbrennungsgasen einer Vormischverbrennung und Zusatzluft beaufschlagt sind.

**Darstellung der Erfindung**

Die Erfindung versucht all diese Nachteile zu vermeiden. Ihr liegt die Aufgabe zugrunde, eine Massnahme zu schaffen, mittels der die Brennkammer möglichst nahe an der mageren Löschgrenze betrieben werden kann, d.h. in jenem Bereich, in dem praktisch kein NO<sub>x</sub> entsteht.

Erfundungsgemäss wird dies mit den Merkmalen der Patentansprüche erreicht.

Die Vorteile der Erfindung sind unter anderem in der reinen Stützung der Brennkammer in kritischen Phasen zu sehen, beispielsweise bei vorübergehendem Auftreten von Schwingungen, bei denen das Löschlimit für reine Vormischbrenner zeitweilig überschritten werden kann. Dadurch, dass die katalytischen Brenner bei sehr magerem Gemisch betriebsfähig bleiben, kann die Regelung insofern vereinfacht werden, dass nunmehr beim Beladen und Entlasten der Gasturbine respektiv der Brennkammer Luftzahlbereiche durchquert werden können, die mit reiner Vormischverbrennung wegen deren magerer Löschgrenze in der Regel nicht durchfahren werden könnten.

Durch diese gezielte Anwendung der katalytischen Brenner können deren eingangs erwähnten Nachteile umgangen werden.

Es ist besonders zweckmässig, wenn die Vormischbrenner und die katalytischen Brenner austauschbar gestaltet sind. Damit hat man ein einfaches Mittel in der Hand, die Brennerkonfiguration an den jeweiligen Brennkammerbetrieb, beispielsweise hinsichtlich Brennstoff oder Druck, anzupassen. Denn grundsätzlich wird angestrebt, die Brennkammer ohne katalytischen Brenner betreiben zu können, um die Vorteile der Vormischverbrennung volumäglich auszunutzen. Die Austauschbarkeit der verschiedenen Brennertypen kann damit als sinnvolle Option für das bedarfswise Zuschalten von katalytischen Brennern angesehen werden, wobei immer nur soviele katalytische Brenner ein-

gesetzt werden, wie gerade zum stabilen Betrieb der Brennkammer erforderlich sind.

Ferner ist es vorteilhaft, wenn die katalytischen Brenner mit einer Abgasrückführung versehen sind, wobei das Abgas vorzugsweise dem Brennraum entnommen wird. Dieser Massnahme liegt der Gedanke zugrunde, dem Brenngemisch die für den Betrieb der katalytischen Brenner notwendige Minimaltemperatur zu geben. Dadurch kann auf die bisher bei katalytischen Brennern üblichen Vorbrenner verzichtet werden.

Hierbei ist es besonders sinnvoll, wenn der Eintritt der Verbrennungsluft für die katalytischen Brenner als Strahlpumpe ausgebildet ist, wobei über diese Strahlpumpe das Abgas aus dem Brennraum angesaugt wird.

Schliesslich werden mit Vorteil die katalytischen Brenner in der Primärzone der Brennkammer in hochbelasteten Wandteilen angeordnet, wo sie eine Art Hitzeschildfunktion ausüben. Durch diese Massnahme kann an den betreffenden Stellen auf die übliche Wandkühlung verzichtet werden, was dem Erfordernis nach möglichst wenig gekühlter Oberfläche entgegenkommt.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnung

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung schematisch dargestellt.

Es zeigen:

- Fig.1 einen Teillängsschnitt einer Brennkammer;
- Fig.2 einen Querschnitt durch einen Vormischbrenner;
- Fig.3 eine Brenneranordnung im Querschnitt;
- Fig.4 eine Brennstoffregelkurve zum Beladen der Brennkammer im Gasbetrieb.

Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Nicht dargestellt sind von der Anlage beispielsweise die Zu- und Anordnung der Brennkammer an den rotierenden Maschinen, die Brennstoffbereitstellung, die Regeleinrichtungen und dergleichen, Die Strömungsrichtung der Arbeitsmittel ist mit Pfeilen bezeichnet.

#### Weg zur Ausführung der Erfindung

In Fig.1 sind im domförmigen Abschluss einer Brennkammer in der Brennkammerwand 1 mehrere Vormischbrenner 10 und katalytische Brenner 20 angeordnet. Letztere befinden sich örtlich an Stellen, die in der Regel stark gekühlt werden müssen. Sie bestehen im wesentlichen aus dem eigentlichen Katalyten 21, der von einem glockenförmigen Gehäuse 22 umgeben ist. Die Gehäusewand wird von einer Brennstoffzuführung 23 durchdrungen, wobei als Brennstoff vorzugsweise Gas zur Anwendung gelangt. Die Verbrennungsluft wird über einen ringförmigen Lufteintritt 24 in das Gehäuseinnere geleitet. Die Verbrennungsluft am Austritt des nicht dargestellten Gasturbinenverdichters weist in der

Regel eine Temperatur von ca. 350°C auf. Dies reicht nicht aus, um die katalytische Verbrennung in Gang zu halten.

Der Lufteintritt 24 ist deshalb als Strahlpumpe aus-

- 5 gebildet. Während des Betriebes wird heißes Brenngas aus dem Brennraum 25 über diese Strahlpumpe in das Gehäuseinnere eingesaugt. Dies geschieht über Abgasdüsen 26, die am Umfang des Katalysators verteilt sind und von der Brennluft gekühlt sind. Die Dimensionierung der Strahlpumpe und der Abgasdüsen wird dabei so vorgenommen, dass die angesaugte Abgasmenge genügend gross ist, um die für den Katalyten erforderliche kritische Temperatur von beispielsweise 550°C mit Sicherheit zu erreichen. Als Beispiel sei angeführt, dass auf 10 Teile Verbrennungsluft mit der Temperatur 350°C ca. 3 Teile Abgas mit der Temperatur 1200°C angesaugt werden.
- 10
- 15

Beim schematisch dargestellten Vormischbrenner 10 nach den Fig.1 und 2 handelt es sich um einen so genannten Doppelkegelbrenner, wie er beispielsweise aus der EP-B1-0 321 809 bekannt ist. Im wesentlichen besteht er aus zwei hohlen, kegelförmigen Teilkörpern 11, 12 die in Strömungsrichtung ineinandergeschachtelt sind. Dabei sind die jeweiligen Mittelachsen 13, 14 der beiden Teilkörper gegeneinander versetzt. Die benachbarten Wandungen der beiden Teilkörper bilden in deren Längserstreckung tangentiale Schlitze 15 für die Verbrennungsluft, die auf diese Weise in das Brennerinnere gelangt. Dort ist eine erste Brennstoffdüse 16 für flüssigen Brennstoff angeordnet. Der Brennstoff wird in einem spitzen Winkel in die Hohlkegel eingedüst. Das entstehende kegelige Flüssigbrennstoffprofil wird von der tangential einströmenden Verbrennungsluft umschlossen. In axialer Richtung wird die Konzentration des Brennstoffes fortlaufend infolge der Vermischung mit der Verbrennungsluft abgebaut. Der Brenner kann ebenfalls mit gasförmigem Brennstoff betrieben werden. Hierzu sind im Bereich der tangentialen Schlitze in den Wandungen der beiden Teilkörper in Längsrichtung verteilte Gaseinströmöffnungen 17 vorgesehen. Im Gasbetrieb beginnt die Gemischbildung mit der Verbrennungsluft somit bereits in der Zone der Eintrittsschlitz 15. Es versteht sich, dass auf diese Weise auch ein Mischbetrieb mit beiden Brennstoffarten möglich ist.

- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

Am Brenneraustritt stellt sich eine möglichst homogene Brennstoffkonzentration über dem beaufschlagten kreisringförmigen Querschnitt ein. Es entsteht am Brenneraustritt eine definierte kalottentörmige Rückströmzone, an deren Spitze die Zündung erfolgt.

Die Wirkungsweise der Erfindung wird nun anhand der Brennstoff-Regelkurve in Fig. 4 erläutert. Es wird hierzu die in Fig. 3 gezeigte Brenneranordnung zugrundegelegt und die Annahme getroffen, dass die Brenner nur gruppenweise zugeschaltet respektiv abgeschaltet werden. Hierbei zeigt es sich als zweckmäßig, zunächst die innenliegenden Brenner zu zünden und dann sukzessiv weiter aussenliegende Elemente brennstoffmässig in Betrieb zu nehmen. Zu diesem Zweck

sind die Brenner in sechs Gruppen mit folgender Besetzung unterteilt: Gruppe u = 9 Elemente, Gruppe v = 6 Elemente, Gruppe w = 3 Elemente, Gruppe x = 6 Elemente, Gruppe y = 6 Elemente, Gruppe z = 6 Elemente. Die Brenner der Gruppen u, v, w, x und y seien Vormischbrenner, jene der Gruppe z seien katalytische Brenner. Die Gruppen sind als solche in Fig. 3 bezeichnet.

Im Diagramm nicht dargestellt ist der eigentliche Startvorgang der Gasturbine, der bei ca. 20% Maschinendrehzahl mit der Initialzündung über den zentral angeordneten Zündbrenner 5 beginnt und mit dem Erreichen der Nenndrehzahl der Maschine und dem Synchronisieren abgeschlossen ist.

Im Schaltbild in Fig. 4 ist somit nur der Belastungsvorgang ab Leerlauf erklärt. Auf der Abszisse ist die Last P in [%] und auf der Ordinate die Luftüberschusszahl (Lamda) aufgetragen. Die Parameter K<sub>36</sub>, K<sub>30</sub>, K<sub>27</sub>, K<sub>24</sub>, K<sub>18</sub>, K<sub>15</sub>, K<sub>12</sub>, K<sub>9</sub> stehen jeweils für eine Anzahl 36, 30, 27 ... 9 in Betrieb stehenden Brenner. Es handelt sich um die optimale Schaltkurve beim Beladen der Brennkammer im Gasbetrieb.

Mit S<sub>V</sub> sind die Stabilitätsgrenzen bei reiner Vormischverbrennung aufgetragen. Zum Vergleich ist mit S<sub>D</sub> auch die Stabilitätsgrenze bei der eingangs erwähnten reinen Diffusionsverbrennung erwähnt. Hier ist erkennbar, dass diese Grenze S<sub>D</sub> bei sehr hoher Luftüberschusszahl liegt. Allerdings wäre mit einer solchen Fahrweise die verlangten tiefen NO<sub>x</sub>-Werte nicht zu erreichen. Als Richtwert kann angegeben werden, dass Diffusionsverbrennung allein für moderne Gasturbinen ca. 300-500 ppm NO<sub>x</sub>-Emissionen zur Folge hätte.

Mit reiner Vormischverbrennung sind andererseits sind die verlangten NO<sub>x</sub>-Grenzwerte ohne weiteres zu unterschreiten. Jedoch ist die Stabilitätsgrenze wegen der tiefen Flammentemperatur niedrig. Der Bereich zwischen Zündvermögen und Löschen ist relativ schmal zum sicheren Betrieb der Brennkammer über den vollen Lastbereich.

Nach Schaubild wird die Brennkammer gemäß dick auszogener Schaltkurve vom Leerlauf bis zu 15% Last mit 12 Brennern hochgeföhrt. Hierbei sind die Gruppen u und w in Betrieb. Durch die Steigerung der Gaszufuhr ist die Luftüberschusszahl bei 15% Last so niedrig geworden, dass nunmehr die Brennergruppe v zugeschaltet wird bei gleichzeitigem Abschalten der Gruppe w. Es sind demnach 15 Vormischbrenner im Betrieb. Die weitere Regelkurve bei der Laststeigerung wird danach derart bestimmt, dass die Luftüberschusszahl sich ständig etwa im gleichen Bereich bewegt. Hierzu werden im gezeigten Beispiel jeweils bei den Lasten P = 27%, 44%, 64% und 86% die Brennergruppen x, y und w eingeschaltet resp. zur Feinstufung abgeschaltet.

Gemäß der Erfindung wird bei 86% Last zusätzlich die Gruppe z mit den katalytischen Stützbrennern in Betrieb genommen. Es resultiert dadurch eine Fahrweise unmittelbar auf der Stabilitätsgrenze. Es versteht sich,

dass die neue Massnahme nicht nur bei Vollast, sondern bedarfsweise auch bei Teillast angewendet werden kann. Grundsätzlich gilt, dass mit Hilfe der katalytischen Brenner Betriebspunkte angefahren werden können, die mit reiner Vormischverbrennung nicht möglich sind, da bei letzteren immer eine gewisser Sicherheitsabstand zur Löschgrenze gewahrt sein muss.

Zur Erläuterung sei hierzu angeführt, dass beim durchaus üblichen Vorliegen von stochastischem Rauschen bereits Schwingungen in der Größenordnung von 10 bis 20 mb vorherrschen. Dies führt zu ganz erheblichen Schwankungen der Luftüberschusszahl, welche nur im Mittelwert die in Fig. 4 angegebenen Werte aufweist, tatsächlich jedoch in einem Bereich um diesen

5 Mittelwert schwankt. Und diese Tatsache führt je nach Amplitude der Schwingung einerseits zu deutlich erhöhten NO<sub>x</sub>-Werten und andererseits zu einem gefährlichen Annähern an die Löschgrenze. So führt bereits der Unterschied von 10-15 mb Druckschwankung zusätzlich zu etwa 5-8 ppm NO<sub>x</sub>.

10

Die neue Fahrweise auf der Löschgrenze führt demnach dazu, dass mit Sicherheit die heute erreichbaren NO<sub>x</sub>-Werte von 20 ppm ganz erheblich unterschritten werden können.

25

#### Bezugszeichenliste

1 Brennkammerwand  
5 Zündbrenner  
10 Vormischbrenner  
11 Teilkörper  
12 Teilkörper  
13 Mittelachse  
14 Mittelachse  
15 tangentiale Schlitze  
16 Brennstoffdüse  
17 Gaseinströmöffnung  
20 katalytische Brenner  
21 Katalyt  
22 Gehäuse  
23 Brennstoffzuführung  
24 Lufteintritt  
25 Brennraum  
26 Abgasdüse

30

35

40

45

#### Patentansprüche

1. Brennkammer, insbesondere für Gasturbinen, bei welcher auf einer gemeinsamen Brennkammerwand (1) mit Verbrennungsluft parallel angeströmte Vormischbrenner (10) und katalytisch unterstützte, vorzugsweise gasbetriebene Brenner (20) angeordnet sind, wobei die Hauptverbrennung mit den Vormischbrennern durchgeführt wird.

50

2. Brennkammer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vormischbrenner (10) und die

55

katalytischen Brenner (20) austauschbar gestaltet sind.

3. Brennkammer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die katalytischen Brenner (20) mit einer Abgasrückführung (24, 26) versehen sind, wobei das Abgas vorzugsweise dem Brennraum (25) entnommen wird.
4. Brennkammer nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Eintritt der Verbrennungsluft für die katalytischen Brenner als Strahlpumpe (24) ausgebildet ist, wobei über diese Strahlpumpe das Abgas aus dem Brennraum (25) angesaugt wird.
5. Brennkammer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die katalytischen Brenner (20) in der Primärzone der Brennkammer in hochbelasteten Wandteilen angeordnet sind.

#### Claims

1. Combustion chamber, in particular for gas turbines, in which there are arranged on a common combustion chamber wall (1) premixing burners (10) with a incident flow of combustion air, and catalytically supported burners (20), preferably gas-operated, the main combustion being carried out by the premixing burners.
2. Combustion chamber according to Claim 1, characterized in that the premixing burners (10) and the catalytic burners (20) are of exchangeable configuration.
3. Combustion chamber according to Claim 1, characterized in that the catalytic burners (20) are provided with a waste-gas feedback (24, 26), the waste gas preferably being extracted from the combustion chamber (25).
4. Combustion chamber according to Claim 3, characterized in that the inlet of the combustion air for the catalytic burners is constructed as a jet pump (24), the waste gas being sucked from the combustion chamber (25) via this jet pump.
5. Combustion chamber according to Claim 1, characterized in that the catalytic burners (20) are arranged in the primary zone of the combustion chamber in highly loaded wall parts.

#### Revendications

1. Chambre de combustion, en particulier pour des turbines à gaz, dans laquelle des brûleurs à prémé-

lange (10) alimentés parallèlement en air de combustion et des brûleurs catalytiques (20), marchant de préférence au gaz, sont disposés sur une paroi commune (1) de la chambre de combustion, dans laquelle la combustion principale est effectuée avec les brûleurs à prémélange.

2. Chambre de combustion suivant la revendication 1, caractérisée en ce que les brûleurs à prémélange (10) et les brûleurs catalytiques (20) sont configurés de façon interchangeable.

3. Chambre de combustion suivant la revendication 1, caractérisée en ce que les brûleurs catalytiques (20) sont pourvus d'un recyclage des gaz d'échappement (24, 26), les gaz d'échappement étant de préférence prélevés dans le volume de combustion (25).

4. Chambre de combustion suivant la revendication 3, caractérisée en ce que l'entrée de l'air de combustion pour les brûleurs catalytiques est constituée comme une pompe à jet (24), les gaz d'échappement étant aspirés par cette pompe à jet hors du volume de combustion (25).

5. Chambre de combustion suivant la revendication 1, caractérisée en ce que les brûleurs catalytiques (20) sont disposés dans la zone primaire de la chambre de combustion dans les parties de paroi fortement sollicitées.

35

40

45

50

55

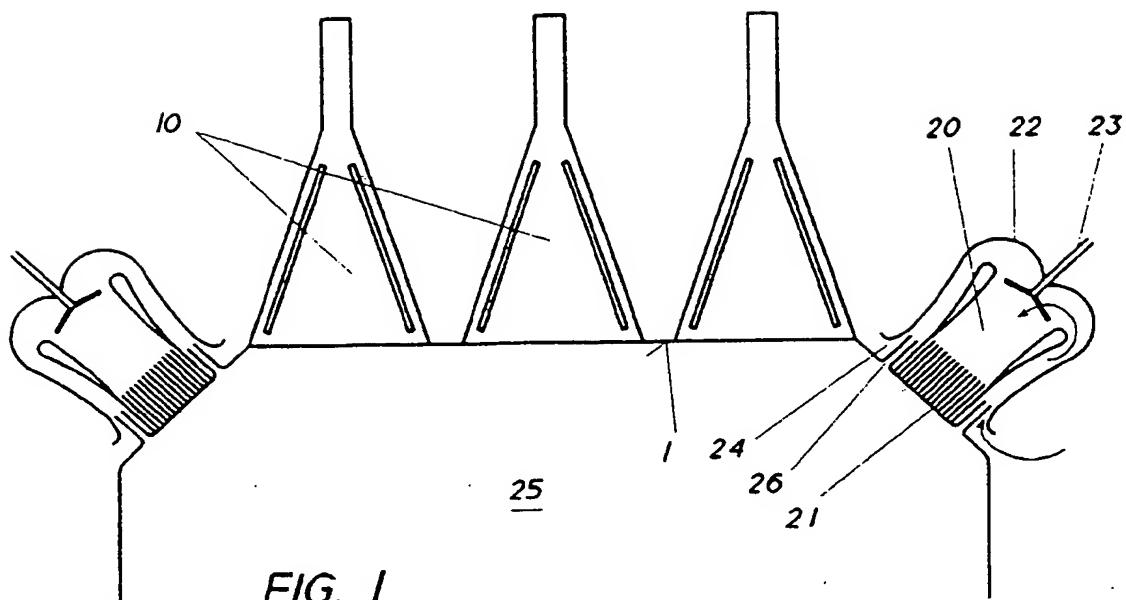


FIG. 1

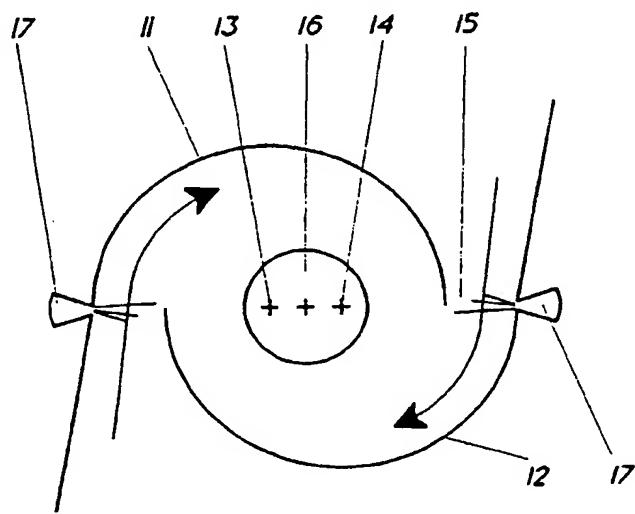


FIG. 2

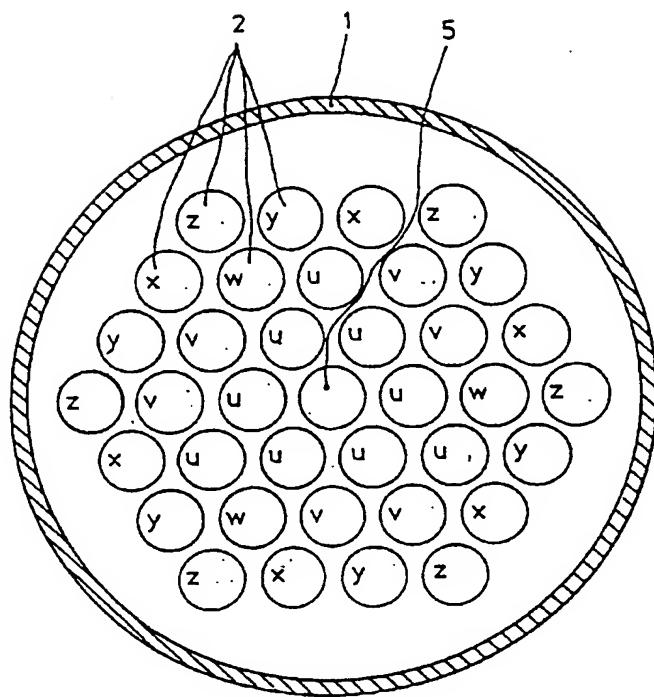


Fig. 3

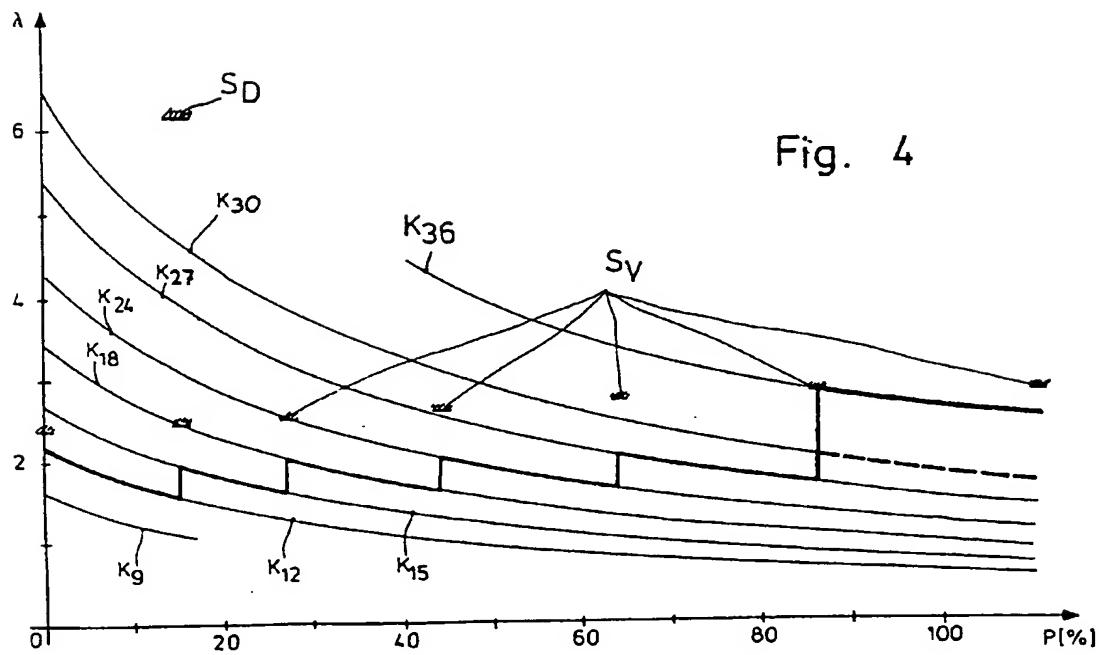


Fig. 4